

PCT/NL

10 / 527970  
03 / 00642

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN 1 MAR 2005

Bureau voor de Industriële Eigendom



REC'D 21 OCT 2003

WIPO

PCT

Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 16 september 2002 onder nummer 1021466,  
ten name van:

**TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT**

te Delft

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Werkwijze voor het behandelen van afvalwater",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 3 oktober 2003

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,  
voor deze,

Mw. M.M. Enhus

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

# UITTREKSEL

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het behandelen van afvalwater dat een te verwijderen nutriënt bevat. Volgens de uitvinding wordt het afvalwater in een eerste stap aan slibkorrels toegevoerd, wordt na het toevoeren  
5 van het te behandelen afvalwater in een tweede stap de slibkorrels in aanwezigheid van een zuurstof-omvattend gas worden gefluïdiseerd, en in een derde stap de slibkorrels in een bezinkstap kunnen bezinken. Aldus kunnen niet alleen doelmatig  
10 een organische nutriënt worden verwijderd, doch eventueel ook stikstofverbindingen en fosfaat.

# Werkwijze-voor het behandelen van afvalwater

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het behandelen van afvalwater, welk afvalwater een organisch nutriënt bevat, waarbij het afvalwater in contact wordt gebracht met micro-organismen-omvattende slibdeeltjes, aan de slibdeeltjes een zuurstof-omvattend gas wordt toegevoerd en de werkwijze verder het laten bezinken van de slibdeeltjes en het afvoeren van aan organisch nutriënt verarmd afvalwater omvat.

Een dergelijke werkwijze is in het vak bekend, bijvoorbeeld uit US 3.864.246. Afvalwater met een hoge waarde van het biologisch zuurstofverbruik (BOD) wordt gemengd met slibvlokken. Vervolgens wordt het aldus verkregen slibvlokken-bevattende afvalwater in contact gebracht met zuurstof (lucht). De gekozen omstandigheden zorgen voor het bevorderen van groei van slibvlokken (d.w.z. biomassadeeltjes) met verbeterde bezinkingseigenschappen. Dit beperkt de tijd die nodig is om de voor biologische afbraak zorgende micro-organismen (in het bijzonder bacteriën) van het afvalwater te scheiden.

Een nadeel van de bekende werkwijze is, ondanks de verbeterde bezinkingssnelheid, dat toepassen van de werkwijze een relatief grote oppervlakte vergt, d.w.z. bij grootschalige zuivering het ruimtebeslag ongewenst groot is.

De onderhavige aanvraag beoogt een verbeterde werkwijze te verschaffen met een ten opzichte van de bekende werkwijze beperkter ruimtebeslag.

Hiertoe wordt de werkwijze volgens de uitvinding gekenmerkt doordat het afvalwater in een eerste stap aan slibkorrels wordt toegevoerd, na het toevoeren van het te behandelen afvalwater in een tweede stap een zuurstof-omvattend gas wordt toegevoerd waarbij de korrels zich in een gefluïdiseerde toestand bevinden, en in een derde stap de slibkorrels in een bezinkstap kunnen bezinken.

Aldus wordt bewerkstelligd dat de werkwijze in een relatief beperkt reactorvolume kan worden uitgevoerd. Hierbij kan het ruimtebeslag wel vijf keer minder zijn. De gekozen

reactie-omstandigheden bevorderen de vorming van slibkorrels  
 (versus slibvlokken) met uitstekende bezinkingseigenschappen.  
 Daarenboven heersen in de eerste stap zuurstof-arme en in de  
 praktijk anaërobe omstandigheden, aangezien daar geen zuur-  
 5 stof wordt toegevoerd. In de eerste stap worden organische  
 nutriënten uit het toegevoerde afvalwater in de slibkorrels  
 opgenomen, hetgeen kan geschieden in de vorm van een poly-  
 meer, zoals poly-beta-hydroxybutyraat. Mocht zuurstof in de  
 eerste stap worden toegevoerd, dan mag dit niet zoveel zijn  
 10 dat opslag van organisch nutriënt wordt verhinderd. In de  
 tweede stap worden de opgeslagen organische nutriënten onder  
 aerobe omstandigheden afgebroken. Daarenboven kan in die ae-  
 robe tweede stap afbraak van eventueel aanwezig ammonium tot  
 nitraat plaatsvinden. Het inwendige van de slibkorrels is ook  
 15 in de tweede stap anaëroob en hier worden opgeslagen organi-  
 sche nutriënten afgebroken onder gebruikmaking van nitraat.  
 Daarbij ontstaat stikstofgas waardoor het N-gehalte in het af-  
 valwater doelmatig wordt verlaagd. Voor het verwijderen van  
 af te breken N-verbindingen is de zuurstofconcentratie in  
 20 de tweede stap minder dan 5 mg/ml, en bij voorkeur minder dan  
 2 mg/ml. Aldus kunnen voorgeschakelde of nageschakelde reac-  
 toren voor het verwijderen van stikstofverbindingen worden  
 vermeden, of kan de reinigende capaciteit daarvan kleiner  
 worden gedimensioneerd, hetgeen een kostenbesparing betekent.  
 25 De onderhavige uitvinding maakt ook het verwijderen van fos-  
 faat mogelijk. Hiertoe worden in een stap die niet de eerste  
 stap is, en bij voorkeur aan het einde van de tweede stap of  
 het begin van de derde stap, slibkorrels verwijderd. Onder de  
 condities van de onderhavige uitvinding blijken fosfaataccu-  
 30 mulerende micro-organismen verrassenderwijze namelijk niet te  
 worden weggeconcurrerd. Alle voor de werkwijze volgens de  
 uitvinding benodigde micro-organismen worden in slib van zui-  
 veringsinstallaties aangetroffen. Zij behoeven niet te worden  
 geïsoleerd aangezien de aangegeven omstandigheden ervoor zor-  
 35 gen dat deze micro-organismen deel uitmaken van de slibkor-  
 rels. De omstandigheden volgens de uitvinding zorgen voor de  
 vorming van slibkorrels die aanmerkelijk groter zijn en een  
 hogere dichtheid hebben dan de slibvlokken verkregen volgens

omstandigheden zoals bekend uit '246 (zie fig.1), met een bezinkingsnelheid  $>10$  m/u (tegen ca. 1 m/u voor de bekende slibpakken) en een slibvolume-index  $<35$  ml/g. Daarbij is de slibvolume-index het volume dat 1 gram biomassa inneemt na 1 uur bezinken. De stappen 1 tot en met 3 (één cyclus) worden herhaald voor het zuiveren van een volgende portie afvalwater.

De uitvinding is zeer geschikt voor de behandeling van afvalwater.

Bij voorkeur wordt het afvalwater in de eerste stap gevoerd aan een bed van slibkorrels, en bezinken in de tweede stap de slibkorrels onder vorming van een bed van slibafzetsels.

Aldus kunnen de micro-organismen aan een hoge concentratie van organisch nutriënt worden blootgesteld, hetgeen korrelvormige groei bevordert.

Volgens een voorkeursuitvoering wordt het afvalwater met een zodanig debiet aan het bed van slibkorrels toegevoerd dat het bed niet fluïdiseert.

Hierdoor kan worden bewerkstelligd dat het micro-organisme aan een zo hoog mogelijke concentratie nutriënt wordt blootgesteld, hetgeen zoals gezegd, korrelvormige groei bevordert aangezien menging van reeds aanwezig behandeld afvalwater en te behandelen afvalwater vergaand wordt vermeden. Onder de term "niet wezenlijk verstoord" verstaan dat het bed niet fluïdiseert en/of ten hoogste 25% van de bedhoogte wordt gemengd als gevolg van het toevoeren van het afvalwater. Het afvalwater kan, bijvoorbeeld, op het bed worden gespreid, direct of onder gebruikmaking van middelen voor het beperken van de kracht waarmee het afvalwater het bedoppervlak kan verstoren, of van onder af worden toegevoerd. Met name in het laatste geval zal het toevoerdebiet zodanig worden beperkt dat geen fluïdisatie van het bed optreedt. In principe is het ook mogelijk het afvalwater via pijpen in het bed van slibkorrels in te brengen.

Volgens een voorkeursuitvoering wordt in de derde stap na ten minste gedeeltelijke bezinking ten minste een deel van het aan nutriënt verarmde afvalwater afgevoerd.

Het verwijderen van het aan nutriënt verarmde afval-

water voorafgaande aan toevoeging van nieuw te behandelen afvalwater betekent een beperking van het benodigde reactorvolume, en dat de een micro-organisme-bevattende slibkorrels met een zo hoog mogelijke concentratie nutriënt in contact  
 5 komen. Dit is gunstig voor de vorming van slibkorrels. De vloeistofhoogte in de reactor is bijvoorbeeld twee keer de hoogte van het bed van slibkorrels in bezonken toestand, en bij voorkeur 1,5 keer of minder zoals 1,2.

Volgens een voorkeursuitvoeringsvorm wordt tijdens  
 10 het toevoeren van afvalwater aan het bed van slibkorrels in de eerste stap ten minste een deel van het aan nutriënt verarmde afvalwater afgevoerd.

In dat geval geschiedt het afvoeren van het aan nutriënt verarmde afvalwater bij voorkeur door verdringing  
 15 door het aan het bed van slibkorrels toegevoerde afvalwater.

Aldus wordt met een enkele handeling zowel bewerkstelligd dat nieuw afvalwater wordt toegevoerd, behandeld afvalwater wordt afgevoerd. Dit kan geschieden tegen lagere investeringskosten. Verder zijn besparingen mogelijk op regel-  
 20 techniek (minder metingen nodig) en bedrijfskosten. Verder wordt menging tussen behandeld afvalwater en te behandelen afvalwater vermeden, waardoor de concentratie nutriënt waaraan micro-organismen in de slibkorrels worden blootgesteld zo  
 25 hoog mogelijk is, met het eerder genoemde voordeel van groei in de vorm van slibkorrels. Het verdrongen behandelde afvalwater wordt bij voorkeur via de bovenzijde van het bed afgevoerd. Aldus worden eventueel gevormde vlokken als gevolg van de verdringing uit de reactor gespoeld. Geschikt wordt, derhalve, het afvalwater via de bodem van het bed toegevoerd.

Een belangrijke uitvoeringsvorm is die waarbij het  
 30 afvalwater in een hoeveelheid van 50 tot 110%, bij voorkeur 80 tot 105% en met de meeste voorkeur 90 tot 100% van het voidvolume van het bed wordt toegevoerd.

Aldus wordt de biomassa in de vorm van de slibkorrels optimaal benut, bij een zo klein mogelijk reactorvolume.  
 35

Bij voorkeur wordt het toevoeren van het afvalwater gevolgd door een pauze alvorens wordt aangevangen met de tweede stap.



afvalwater het bezonken korrelbed in een propstroom regime doorstroomt;

ii) Beluchting gedurende 111 minuten met een beluchtingsdebiet van 4 liter lucht per minuut.

5 iii) Bezinking van het korrelslib gedurende 3 minuten na het stoppen van de beluchting.

10 iv) Aflaten van het behandelde model afvalwater, vanuit het effluent aflaat punt op de halve reactor hoogte. Alle biomassa die zich op dit moment boven het effluent aflaat punt bevond werd met het behandelde afvalwater uit de reactor verwijderd.

v) Rustpauze van 1 minuut, waarna weer met het toedienen van het modelafvalwater begonnen werd.

15 De pH in de reactor werd door toevoegen van loog of zuur op 6,5 tot 7,5 gehouden en de temperatuur op 20°C. Tijdens de beluchte fase werd de opgeloste zuurstofconcentratie op ca. 1,8 mg/ml gehandhaafd. Daarmee wordt enerzijds de zuurstofconcentratie voldoende hoog gehouden voor aerobe afbraak van nutriënt in het buitenste deel van de slibkorrels, 20 en kan anderzijds het benodigde pompvermogen voor het toevoeren van lucht gering zijn. De overdracht van zuurstof uit de lucht geschiedt onder deze omstandigheden immers zeer efficiënt. Aldus vergt het toevoeren van zuurstof ook weinig energie. Stikstofverbindingen bleken bij deze zuurstofconcentratie optimaal te worden afgebroken, waarbij slechts minimale 25 hoeveelheden nitraat in het behandelde afvalwater terecht kwamen.

In tabel 1 staan de gemiddelde concentraties weergegeven van het model afvalwater en van het behandelde water. 30 Daarbij staat het gemiddelde zuiveringsrendement genoemd. Figuur 1 geeft het verloop van de acetaat- (o), fosfaat- (Δ), ammonium- (zwarte ruit) en de som van de nitraat- en nitriet- (open ruit)concentratie tijdens een cyclus weer. Fig. 2b laat een foto zien van de slibkorrels zoals die verkregen worden 35 met de methode. De verkregen slibkorrels waren ten minste 300 dagen stabiel, waarna dit experiment gestopt is. Daarmee maakt de werkwijze volgens de uitvinding een bedrijfszekere bedrijfsvoering mogelijk. Fig. 2a laat kenmerkende slibvlok-



ken zien met een bezinkingstijd zoals deze wordt beschreven in US 3.864.246. Ofschoon US 3.864.246 met succes de groei van draadvormende organismen, die zogenaamd licht slib vormen, tegengaat, hebben de gevormde slibvlokken een bezink-  
 5 snelheid van hooguit 1 m/u. Daarentegen hebben de slibkorrels volgens de onderhavige uitvinding zeer hoge bezinksnelheden (>10 m/u), terwijl verder de afstand waarover bezinking plaatsvindt relatief gering kan zijn.

Tabel 1 Concentraties van het onbehandelde en behandelde model afvalwater

Gemiddelde waarden	Model afvalwater	Behandeld afvalwater	Verwijderingsrendement
Acetaat (mM)	6,3	0	100%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mM)	3,6	0	97%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mM)	0	0,1	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mM)	0	0	
PO <sub>4</sub> (mM)	0,6	0,04	94%

10

Eén van de factoren die bijdragen aan korrelvormige groei is het aanbieden van afvalwater met een zo hoog mogelijke nutriëntconcentratie aan de slibkorrels. Om deze reden  
 15 is het gunstig om opmenging tussen behandeld afvalwater in de reactor en nieuw toegevoerd afvalwater te vermijden. In die gevallen waarin de concentratie nutriënt in het afvalwater gedurende vele, bijvoorbeeld >10 cycli, laag is kan indien nodig nutriënt aan het afvalwater worden toegevoegd. Hierbij  
 20 kan worden gedacht aan vloeibare mest.

De onderhavige uitvinding kan op velerlei wijzen worden toegepast. Zo is het gunstig om in plaats van één reactor een drietal reactoren te gebruiken, waarbij de drie reactoren uit fase worden bedreven. Dat wil zeggen, terwijl in  
 25 één reactor afvalwater wordt toegevoerd, wordt in een tweede reactor de beluchtingsstap uitgevoerd, terwijl in een derde reactor de bezinking plaatsvindt en eventueel afvoer van gereinigd water. Aldus blijft de investering in pompen, met name voor wat betreft de benodigde maximale capaciteit ervan,  
 30 beperkt. Behandeld afvalwater komt geleidelijk vrij en dit is gunstig indien dit afvalwater nog een nabehandeling dient te

ondergaan, aangezien ook daarbij met een kleinere nabehandelingsreactor kan worden volstaan. Aangezien, in vergelijking met het hiervoor beschreven experiment, in de praktijk reactoren relatief hoger zullen zijn, zal de bezinking langer duren. Dit betekent dat het voeden éénderde van de tijd in beslag zal kunnen nemen, de beluchting en de bezinking tezamen tweederde van de tijd. Aldus wordt een buffertank voor tijdelijke opslag van te behandelen afvalwater vermeden en wordt met drie batch-gewijs bedreven reactoren continu bedrijf mogelijk. De uitvinding is geïllustreerd aan de hand van een airlift reactor, doch de uitvinding kan met een ander type reactor worden uitgevoerd, zoals een bellenkolomreactor.

### CONCLUSIES

1. Werkwijze voor het behandelen van afvalwater, waarbij elk afvalwater een organisch nutriënt bevat, waarbij het afvalwater in contact wordt gebracht met micro-organismen-  
omvattende slibdeeltjes, aan de slibdeeltjes een zuurstof-  
omvattend gas wordt toegevoerd en de werkwijze verder het la-  
gen bezinken van de slibdeeltjes en het afvoeren van aan or-  
ganisch nutriënt verarmd afvalwater omvat, **met het kenmerk**,  
dat het afvalwater in een eerste stap aan slibkorrels wordt  
toegevoerd, na het toevoeren van het te behandelen afvalwater  
in een tweede stap een zuurstof-omvattend gas wordt toege-  
voerd waarbij de korrels zich in een gefluïdiseerde toestand  
bevinden, en in een derde stap de slibkorrels in een bezink-  
stap kunnen bezinken.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, **met het kenmerk**,  
15 dat het afvalwater in de eerste stap wordt toegevoerd aan een  
bed van slibkorrels, en in de derde stap de slibkorrels be-  
zinken onder vorming van een bed van slibkorrels.

3. Werkwijze volgens conclusie 2, **met het kenmerk**,  
dat het afvalwater met een zodanig debiet aan het bed van  
20 slibkorrels wordt toegevoerd dat het bed niet fluïdiseert.

4. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies,  
**met het kenmerk**, dat in de derde stap na ten minste gedeelte-  
lijke bezinking ten minste een deel van het aan nutriënt ver-  
armde afvalwater wordt afgevoerd.

25 5. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies,  
**met het kenmerk**, dat tijdens het toevoeren van afvalwater aan  
het bed van slibkorrels in de eerste stap ten minste een deel  
van het aan nutriënt verarmde afvalwater wordt afgevoerd.

6. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies,  
30 **met het kenmerk**, dat het afvoeren van het aan nutriënt ver-  
armde afvalwater geschiedt door verdringing door het aan het  
bed van slibkorrels toegevoerde afvalwater.

7. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies,  
**met het kenmerk**, dat het afvalwater in een hoeveelheid van 50  
35 tot 110%, bij voorkeur 80 tot 105% en met de meeste voorkeur

90 tot 100% van het voidvolume van het bed wordt toegevoerd.

8. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat het toevoeren van het afvalwater wordt gevolgd door een pauze alvorens wordt aangevangen met de  
5 tweede stap.

9. Werkwijze volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat de pauze een duur heeft voldoende voor het verwijderen van ten minste 50%, bij voorkeur ten minste 75% en met de meeste voorkeur ten minste 90% van de organische nutriënt uit  
10 het afvalwater

10. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat in de derde stap een selectie wordt uitgevoerd waarbij langzamer bezinkende slibkorrels uit de reactor worden afgevoerd en sneller bezinkende slibkorrels in de  
15 reactor achterblijven.

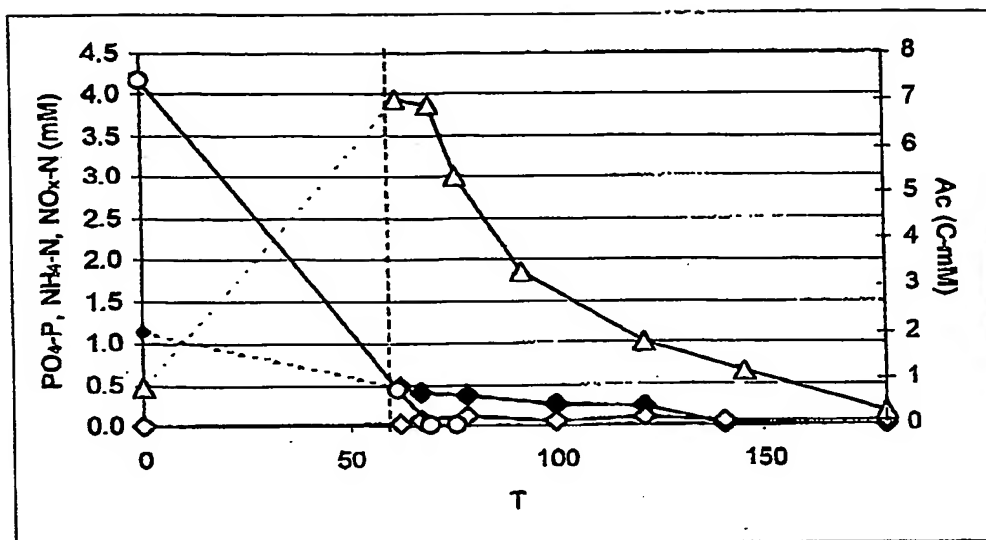


Fig. 1

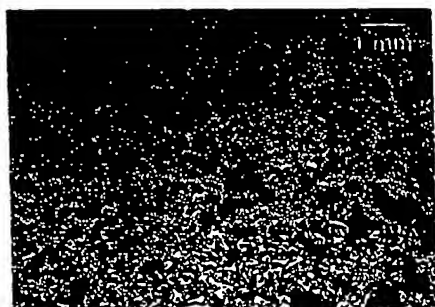


Fig. 2a

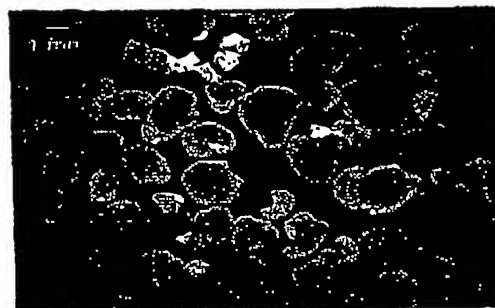


Fig. 2b